

Московский Авиационный Институт  
(Национальный Исследовательский Университет)  
Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”  
Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

**Лабораторная работа №2 по курсу**  
**«Операционные системы»**

Группа: М8О-209БВ-24

Студент: Андреев М.В

Преподаватель: Миронов Е.С.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата: 22.11.25

Москва, 2025

# Постановка задачи

## Вариант 18.

Составить программу на языке Си, обрабатывающую данные в многопоточном режиме. При обработке использовать стандартные средства создания потоков операционной системы (Windows/Unix). Ограничение максимального количества потоков, работающих в один момент времени, должно быть задано ключом запуска вашей программы.

Так же необходимо уметь продемонстрировать количество потоков, используемое вашей программой с помощью стандартных средств операционной системы.

Найти образец в строке наивным алгоритмом

## Общий метод и алгоритм решения

### Использованные системные вызовы:

- `clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start)` - получение монотонного времени для точного замера производительности
- `pthread_create()` - создание потоков для параллельного поиска
- `pthread_join()` - ожидание завершения всех потоков
- `pthread_mutex_lock()` / `pthread_mutex_unlock()` - синхронизация доступа к общему массиву результатов

### Алгоритм работы программы:

#### 1. Инициализация и распределение данных

- Главный поток считывает параметры: максимальное количество потоков, исходный текст и образец для поиска
- Вычисляется реальное количество потоков как минимум между максимальным количеством потоков и количеством возможных позиций для поиска
- Текст разбивается на перекрывающиеся сегменты для каждого потока (перекрытие = длина образца - 1)

#### 2. Параллельный поиск

- Каждый поток выполняет наивный алгоритм поиска в своем сегменте текста
- Наивный алгоритм последовательно проверяет каждую позицию в сегменте, сравнивая символы образца с соответствующими символами текста
- Найденные позиции сохраняются в локальный массив каждого потока

#### 3. Синхронизация результатов

- После завершения поиска каждый поток добавляет свои результаты в общий массив

- Доступ к общему массиву защищается мьютексом для предотвращения гонки данных
- Главный поток ожидает завершения всех рабочих потоков

#### 4. Вывод результатов

- Программа выводит количество найденных вхождений, их позиции в тексте
- Отображается время выполнения и фактическое количество использованных потоков
- Предоставляется PID процесса для демонстрации потоков средствами операционной системы

## Код программы

### lab2\_naive\_search.c

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <string.h>
#include <time.h>
#include <unistd.h>

int MAX_THREADS = 4;

typedef struct {
    int id;
    char *text;
    char *pattern;
    int start;
    int end;
    int pattern_len;
    int *results;
    int *result_count;
    pthread_mutex_t *mutex;
} ThreadData;

pthread_t* threads;
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

void naive_search(const char *text, const char *pattern, int start, int end,
                  int pattern_len, int *positions, int *count) {
    for (int i = start; i <= end - pattern_len; i++) {
        int j;
        for (j = 0; j < pattern_len; j++) {
            if (text[i + j] != pattern[j]) break;
        }
        if (j == pattern_len) {
            positions[*count] = i;
            (*count)++;
        }
    }
}
```

```

}

void* thread_function(void *arg) {
    ThreadData *data = (ThreadData *)arg;

    int local_count = 0;
    int *local_positions = malloc(sizeof(int) * (data->end - data->start));

    naive_search(data->text, data->pattern, data->start, data->end,
        data->pattern_len, local_positions, &local_count);

    pthread_mutex_lock(data->mutex);
    for (int i = 0; i < local_count; i++) {
        data->results[*data->result_count] = local_positions[i];
        (*data->result_count)++;
    }
    pthread_mutex_unlock(data->mutex);

    free(local_positions);
    return NULL;
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 4) {
        printf("Usage: %s <max_threads> <text> <pattern>\n", argv[0]);
        return 1;
    }

    MAX_THREADS = atoi(argv[1]);
    char *text = argv[2];
    char *pattern = argv[3];

    int text_len = strlen(text);
    int pattern_len = strlen(pattern);

    if (pattern_len > text_len) {
        printf("Pattern longer than text\n");
        return 1;
    }

    if (MAX_THREADS <= 0) {
        printf("Thread count must be positive\n");
        return 1;
    }

    int actual_threads = (text_len - pattern_len + 1 < MAX_THREADS) ?
        text_len - pattern_len + 1 : MAX_THREADS;

    threads = malloc(sizeof(pthread_t) * actual_threads);
    ThreadData *thread_data = malloc(sizeof(ThreadData) * actual_threads);

    int *results = malloc(sizeof(int) * text_len);
    int result_count = 0;

```

```

struct timespec start, end;
clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start);

int chunk_size = (text_len - pattern_len + 1) / actual_threads;
int remainder = (text_len - pattern_len + 1) % actual_threads;

int current_start = 0;
for (int i = 0; i < actual_threads; i++) {
    thread_data[i].id = i;
    thread_data[i].text = text;
    thread_data[i].pattern = pattern;
    thread_data[i].start = current_start;

    int chunk = chunk_size + (i < remainder ? 1 : 0);
    thread_data[i].end = current_start + chunk + pattern_len - 1;
    if (thread_data[i].end > text_len) thread_data[i].end = text_len;

    thread_data[i].pattern_len = pattern_len;
    thread_data[i].results = results;
    thread_data[i].result_count = &result_count;
    thread_data[i].mutex = &mutex;

    current_start += chunk;

    pthread_create(&threads[i], NULL, thread_function, &thread_data[i]);
}

for (int i = 0; i < actual_threads; i++) {
    pthread_join(threads[i], NULL);
}

clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end);
double time_sec = (end.tv_sec - start.tv_sec) + (end.tv_nsec - start.tv_nsec) / 1e9;

printf("Found: %d\n", result_count);
for (int i = 0; i < result_count; i++) {
    printf("%d ", results[i]);
}
printf("\n");

printf("Time: %lf seconds\n", time_sec);
printf("Threads used: %d (max: %d)\n", actual_threads, MAX_THREADS);
printf("Process PID: %d\n", getpid());

free(threads);
free(thread_data);
free(results);

return 0;
}

```

## benchmark.sh

```
#!/bin/bash

echo "Performance benchmark for multithreaded string search"
echo "===== "

gcc -o lab2_naive_search lab2_naive_search.c -lpthread

TEXT="abacabaabacababacabaabacababacabaabacababacabaabacaba"
PATTERN="aba"

echo "Text: $TEXT"
echo "Pattern: $PATTERN"
echo ""

for threads in 1 2 4 8
do
    echo "Threads: $threads"
    ./lab2_naive_search $threads "$TEXT" "$PATTERN" | grep -E "(Time:|Threads used:)"
    echo "-----"
done
```

## Протокол работы программы

### Тестирование:

```
maxva@LAPTOP-RQH0LUE:/mnt/d/Programming/OS/lab2$ ./lab2_naive_search 4 "abacabaabacab" "aba"
Found: 3
0 4 7
Time: 0.001143 seconds
Threads used: 4 (max: 4)
Process PID: 145612
```

### Strace:

```
$ strace -f ./lab2_naive_search 4 "abacabaabacab" "aba"
```

```
execve("./lab2_naive_search", [ "./lab2_naive_search", "4", "abacabaabacab", "aba"],
0x7fff7aca41d0 /* 35 vars */) = 0

brk(NULL)                               = 0x5569a1daa000

mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) =
0x7f1989aff000

access("/etc/ld.so.preload", R_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=19935, ...}) = 0

mmap(NULL, 19935, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7f1989afa000

close(3)                                = 0

openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\220\243\2\0\0\0\0"..., 832)
= 832
```

```

pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"... , 784,
64) = 784

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=2125328, ...}) = 0

pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"... , 784,
64) = 784

mmap(NULL, 2170256, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x7f19898e8000

mmap(0x7f1989910000, 1605632, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x28000) = 0x7f1989910000

mmap(0x7f1989a98000, 323584, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3,
0x1b0000) = 0x7f1989a98000

mmap(0x7f1989ae7000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,
3, 0x1fe000) = 0x7f1989ae7000

mmap(0x7f1989aed000, 52624, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS,
-1, 0) = 0x7f1989aed000

close(3) = 0

mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) =
0x7f19898e5000

arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7f19898e5740) = 0

set_tid_address(0x7f19898e5a10) = 210757

set_robust_list(0x7f19898e5a20, 24) = 0

rseq(0x7f19898e6060, 0x20, 0, 0x53053053) = 0

mprotect(0x7f1989ae7000, 16384, PROT_READ) = 0

mprotect(0x55697c145000, 4096, PROT_READ) = 0

mprotect(0x7f1989b37000, 8192, PROT_READ) = 0

prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0

munmap(0x7f1989afa000, 19935) = 0

getrandom("\x51\xcd\x84\x02\x38\x64\x1b\x38", 8, GRND_NONBLOCK) = 8

brk(NULL) = 0x5569a1daa000

brk(0x5569a1dcb000) = 0x5569a1dcb000

rt_sigaction(SIGRT_1, {sa_handler=0x7f1989981530, sa_mask=[],
sa_flags=SA_RESTORER|SA_ONSTACK|SA_RESTART|SA_SIGINFO, sa_restorer=0x7f198992d330}, NULL, 8)
= 0

rt_sigprocmask(SIG_UNBLOCK, [RTMIN RT_1], NULL, 8) = 0

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x7f19890e4000

mprotect(0x7f19890e5000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[], [], 8) = 0

clone3({flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|C
LONE_SETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, child_tid=0x7f19898e4990,
parent_tid=0x7f19898e4990, exit_signal=0, stack=0x7f19890e4000, stack_size=0x7fff80,
tls=0x7f19898e46c0})strace: Process 210758 attached

```

```

=> {parent_tid=[210758]}, 88) = 210758
[pid 210758] rseq(0x7f19898e4fe0, 0x20, 0, 0x53053053 <unfinished ...>
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210758] <... rseq resumed>) = 0
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210758] set_robust_list(0x7f19898e49a0, 24 <unfinished ...>
[pid 210757] mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0
<unfinished ...>
[pid 210758] <... set_robust_list resumed>) = 0
[pid 210757] <... mmap resumed>) = 0x7f19888e3000
[pid 210758] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210757] mprotect(0x7f19888e4000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE <unfinished ...>
[pid 210758] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210758] mmap(NULL, 134217728, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0
<unfinished ...>
[pid 210757] <... mprotect resumed>) = 0
[pid 210758] <... mmap resumed>) = 0x7f19808e3000
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[], <unfinished ...>
[pid 210758] munmap(0x7f19808e3000, 57790464 <unfinished ...>
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>[], 8) = 0
[pid 210757]
clone3({flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_S
ETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEAR_TID, child_tid=0x7f19890e3990,
parent_tid=0x7f19890e3990, exit_signal=0, stack=0x7f19888e3000, stack_size=0x7fff80,
tls=0x7f19890e36c0} <unfinished ...>
[pid 210758] <... munmap resumed>) = 0
[pid 210758] munmap(0x7f1988000000, 9318400strace: Process 210759 attached
<unfinished ...>
[pid 210757] <... clone3 resumed> => {parent_tid=[210759]}, 88) = 210759
[pid 210758] <... munmap resumed>) = 0
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210759] rseq(0x7f19890e3fe0, 0x20, 0, 0x53053053 <unfinished ...>
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210758] mprotect(0x7f1984000000, 135168, PROT_READ|PROT_WRITE <unfinished ...>
[pid 210757] mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0
<unfinished ...>
[pid 210759] <... rseq resumed>) = 0
[pid 210757] <... mmap resumed>) = 0x7f19880e2000
[pid 210758] <... mprotect resumed>) = 0

```



```

[pid 210757] mprotect(0x7f19880e3000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE <unfinished ...>
[pid 210759] set_robust_list(0x7f19890e39a0, 24 <unfinished ...>
[pid 210757] <... mprotect resumed>)    = 0
[pid 210759] <... set_robust_list resumed>) = 0
[pid 210758] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[RT_1], <unfinished ...>
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[], <unfinished ...>
[pid 210759] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>[], 8) = 0
[pid 210758] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210757]
clone3({flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_S
ETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, child_tid=0x7f19888e2990,
parent_tid=0x7f19888e2990, exit_signal=0, stack=0x7f19880e2000, stack_size=0x7fff80,
tls=0x7f19888e26c0} <unfinished ...>

[pid 210759] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210758] madvise(0x7f19890e4000, 8368128, MADV_DONTNEED <unfinished ...>
[pid 210759] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[RT_1], <unfinished ...>
[pid 210758] <... madvise resumed>)    = 0
strace: Process 210760 attached
[pid 210757] <... clone3 resumed> => {parent_tid=[210760]}, 88) = 210760
[pid 210759] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210758] exit(0 <unfinished ...>
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210760] rseq(0x7f19888e2fe0, 0x20, 0, 0x53053053 <unfinished ...>
[pid 210759] madvise(0x7f19888e3000, 8368128, MADV_DONTNEED <unfinished ...>
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210760] <... rseq resumed>)      = 0
[pid 210758] <... exit resumed>)      = ?
[pid 210757] mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0
<unfinished ...>

[pid 210760] set_robust_list(0x7f19888e29a0, 24 <unfinished ...>
[pid 210759] <... madvise resumed>)    = 0
[pid 210760] <... set_robust_list resumed>) = 0
[pid 210758] +++ exited with 0 +++
[pid 210759] exit(0 <unfinished ...>
[pid 210757] <... mmap resumed>)      = 0x7f19837ff000
[pid 210760] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210757] mprotect(0x7f1983800000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE <unfinished ...>

```

```

[pid 210759] <... exit resumed>          = ?
[pid 210757] <... mprotect resumed>      = 0
[pid 210760] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210759] +++ exited with 0 +++
[pid 210760] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[RT_1], NULL, 8) = 0
[pid 210760] madvise(0x7f19880e2000, 8368128, MADV_DONTNEED) = 0
[pid 210760] exit(0)                    = ?
[pid 210760] +++ exited with 0 +++
rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[], [], 8)   = 0

clone3({flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CLONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, child_tid=0x7f1983fff990, parent_tid=0x7f1983fff990, exit_signal=0, stack=0x7f19837ff000, stack_size=0x7fff80, tls=0x7f1983fff6c0})strace: Process 210761 attached

=> {parent_tid=[210761]}, 88) = 210761
[pid 210761] rseq(0x7f1983ffffe0, 0x20, 0, 0x53053053) = 0
[pid 210757] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], <unfinished ...>
[pid 210761] set_robust_list(0x7f1983fff9a0, 24 <unfinished ...>
[pid 210757] <... rt_sigprocmask resumed>NULL, 8) = 0
[pid 210761] <... set_robust_list resumed>) = 0
[pid 210757] futex(0x7f1983fff990, FUTEX_WAIT_BITSET|FUTEX_CLOCK_REALTIME, 210761, NULL, FUTEX_BITSET_MATCH_ANY <unfinished ...>
[pid 210761] rt_sigprocmask(SIG_SETMASK, [], NULL, 8) = 0
[pid 210761] rt_sigprocmask(SIG_BLOCK, ~[RT_1], NULL, 8) = 0
[pid 210761] madvise(0x7f19837ff000, 8368128, MADV_DONTNEED) = 0
[pid 210761] exit(0)                    = ?
[pid 210757] <... futex resumed>         = 0
[pid 210761] +++ exited with 0 +++
fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x7), ...}) = 0
write(1, "Found: 3\n", 9Found: 3
)
= 9
write(1, "0 4 7 \n", 70 4 7
)
= 7
write(1, "Time: 0.003325 seconds\n", 23Time: 0.003325 seconds
) = 23
write(1, "Threads used: 4 (max: 4)\n", 25Threads used: 4 (max: 4)
) = 25
getpid()
= 210757

```

```

write(1, "Process PID: 210757\n", 20Process PID: 210757
)    = 20
exit_group(0)                = ?
+++ exited with 0 +++

```

Потоков	Время	Ускорение	Эффективность
1	0.000110	1	1
2	0.000097	1,13	0,57
4	0.000462	0,24	0,06
8	0.000746	0,15	0,02

Эксперимент показал, что при малом объеме входных данных использование многопоточности неэффективно. Наилучшее время достигнуто на 2 потоках (ускорение 1.13), однако дальнейшее увеличение числа потоков приводит к замедлению из-за преобладания накладных расходов над полезной работой. Для демонстрации преимуществ параллелизма необходим больший объем вычислений.

## Вывод

**В ходе работы освоены основы многопоточного программирования: создание потоков через pthread, синхронизация мьютексами и распределение работы. На практике подтверждено, что эффективность многопоточности зависит от объема данных - при малых задачах накладные расходы превышают выгоду от параллелизма. Получен важный опыт оптимизации многопоточных алгоритмов.**